Дата публикации: 01.03.2024
DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_01_4
УДК 611.2; 796

Publication date: 01.03.2024
DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_01_4
UDC 611.2; 796

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ПРИРОСТА НАГРУЗКИ ВО ВРЕМЯ ТЕСТИРОВАНИЯ НА РУЧНОМ ЭРГОМЕТРЕ НА МАКСИМАЛЬНОЕ ПОТРЕБЛЕНИЕ КИСЛОРОДА: СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

В.В. Волков, Р.В. Тамбовцева
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», г. Москва, Россия

Аннотация. В проведенных ранее исследованиях было показано, что максимальное потребление кислорода при работе на велоэргометре и беговой дорожке не зависит от длительности протокола тестирования в широком временном диапазоне. В то же время, для решения некоторых задач в клинической и спортивной функциональной диагностике используются ручные эргометры. Целью представленного исследования было проведение систематического обзора научной литературы по теме влияния скорости прироста нагрузки во время ступенчатого теста при работе руками на максимальное потребление кислорода. Поиск проводился в электронных базах данных PubMed/MEDLINE и Cochrane Library с момента их создания до 1 августа 2023 года. В данный обзор вошли 4 исследования, которые соответствовали критериям включения, по результатам которых максимальное потребление кислорода не зависит от скорости прироста нагрузки в инкрементальных тестах при работе руками.
Ключевые слова: максимальное потребление кислорода, функциональная диагностика, нагрузочное тестирование, ручной эргометр.

INFLUENCE OF LOAD RATE ON MAXIMUM OXYGEN CONSUMPTION DURING UPPER-BODY TESTING: A SYSTEMATIC REVIEW

V.V. Volkov, R.V. Tambovtseva
Russian University of Sports “GTSOLIFK”, Moscow, Russia

Abstract. It has been shown that maximum oxygen consumption when working on a bicycle ergometer and treadmill does not depend on the duration of the testing protocol over a wide time range. At the same time, arm crank ergometers are used to solve some problems in clinical and sports functional diagnostics. The aim of the study was to conduct a systematic review of the scientific literature on the effect of load rate in a step test with hand work on maximum oxygen consumption. The electronic databases PubMed/MEDLINE and the Cochrane Library were searched from the moment of their creation to August 1, 2023. This review included four studies that met the inclusion criteria and revealed that maximum oxygen consumption was independent of load rate in incremental tests on arm crank ergometers.
Keywords: maximum oxygen consumption, functional diagnostics, load test, arm crank ergometer.

Введение. Для профессионального спорта обязателен регулярный контроль функционального состояния атлета. Одним из важнейших измеряемых параметров в батарее тестов, используемых на углубленных медицинских (УМО) и этапных обследованиях (ЭКО), является максимальное потребление кислорода (МПК). Однако все чаще и чаще перед специалистами встает вопрос: на каком оборудовании лучше тестировать аэробную работоспособность того или иного спортсмена, чтобы получать данные, обладающие большей прогностической силой.

Неоднократно было показано, что МПК может зависеть от объема работающей мышечной массы или от формы выполняемого упражнения [1-5]. Также существует проблема взаимосвязи данных лабораторного тестирования со специальной

работоспособностью в полевых тестах. И такая взаимосвязь, к сожалению, не всегда обнаруживается [6]. В попытках получить больше информации о физической работоспособности в некоторых видах спорта спортсмены выполняют тесты не только на привычном диагностическом оборудовании – велоэргометре или беговой дорожке, но и отдельно при работе руками [7-8]. Возможно, в некоторых спортивных специализациях, например в гребле, лыжных гонках или единоборствах, показатели работоспособности при работе руками могут показать более строгую связь со спортивным результатом, чем показатели, полученные на «традиционных» эргометрах. Этот вопрос требует тщательного изучения. Также в исследованиях по фундаментальной физиологии изучается так называемый «эффект переноса тренированности», когда оценивают влияние тренировки, выполняемой одним мышечным регионом, например ногами, на работоспособность другого региона – соответственно при работе руками [9-10]. Все это говорит о том, что ручной эргометр все чаще используется в функциональной диагностике и фундаментальных физиологических исследованиях, поэтому для данной процедуры также встает вопрос выбора оптимального протокола тестирования.

В широко цитируемых рекомендациях отмечено, что для получения достоверных значений МПК тесты с постепенно возрастающей нагрузкой должны длиться в диапазоне от 8 до 12 минут. Эти рекомендации включены в руководства по тестированию, опубликованные Американским колледжем спортивной медицины [11] и Американским торакальным обществом/Американским колледжем торакальных врачей [12]. При такой рекомендованной продолжительности тестирования спортсмены и тренеры командных видов спорта могут сталкиваться с дополнительными трудностями при прохождении регулярных лабораторных испытаний. При средней продолжительности нагрузочного теста для определения только аэробных возможностей 8-12 минут (не считая подготовку и калибровку оборудования) и, например, хоккейной команды в количестве в 25-30 человек, тестирование может занять несколько дней. Также очень велика физиологическая нагрузка на организм спортсмена при выполнении таких длительных максимальных тестов, что может негативно сказаться на тренировочном процессе. Поэтому перед специалистами по функциональной диагностике встает вопрос: можно ли уменьшить продолжительность и стрессогенность нагрузочного тестирования при сохранении его информативности.

В обзоре, опубликованном авторами ранее [13], было показано, что в широком диапазоне продолжительности работы показатели МПК не зависят от применяемого протокола. Это явление прослеживается как на нетренированных и больных испытуемых, так и на спортсменах различных специализаций. Большая часть работ показывает отсутствие отличий в МПК между протоколами «около рекомендуемой» продолжительности (8-12 минут), но встречаются и данные, демонстрирующие достижение МПК в тестах с общей продолжительностью всего 5 минут и менее. Собственные исследования авторов демонстрируют возможность достижения МПК в ступенчатом тесте длительностью менее 2 минут, а также в 30-секундном Вингейт-тесте [14]. Однако, большинство этих данных было получено на велоэргометре или на беговой дорожке, а как уже упоминалось ранее, оценка физической работоспособности при работе руками также представляет большой интерес для специалистов. На основании анализа публикаций и существующих практических проблем была сформулирована цель исследования: провести систематический поиск и обзор научной литературы по теме влияния скорости прироста нагрузки во время ступенчатого теста на МПК при работе руками.

Методы и организация исследования. В качестве метода исследования был использован контент-анализ отечественных и зарубежных литературных источников.

Исследование проводилось на кафедре Биохимии и биоэнергетики спорта имени Н.И. Волкова Российского университета спорта «ГЦОЛИФК». Был проведен поиск в базах данных PubMed/MEDLINE и Cochrane Library с момента их создания до августа 2023 года. Два автора (Волков В.В. и Тамбовцева Р.В.) просмотрели найденные аннотации и полные тексты статей, которые предположительно соответствовали критериям включения. Поиск выполнялся с использованием следующей комбинации терминов: «VO_2max» И («upper-body poling» ИЛИ «arm cycling» ИЛИ «arm crank ergometer» ИЛИ «arm cranking»), «Incremental test» И («upper-body poling» ИЛИ «arm cycling» ИЛИ «arm crank ergometer» ИЛИ «arm cranking»), «aerobic performance» И («upper-body poling» ИЛИ «arm cycling» ИЛИ «arm crank ergometer» ИЛИ «arm cranking»), «aerobic endurance» И («upper-body poling» ИЛИ «arm cycling» ИЛИ «arm crank ergometer» ИЛИ «arm cranking»). Кроме того, мы выполнили вторичный поиск, внимательно изучив список литературы каждого прочитанного полного текста, а также изучив статьи, в которых цитировались включенные исследования. Методы соответствовали рекомендациям, изложенным в «Предпочитаемых элементах отчетности для систематических обзоров и мета-анализов» (PRISMA) [15-16]. На рисунке представлена блок-схема процесса поиска.

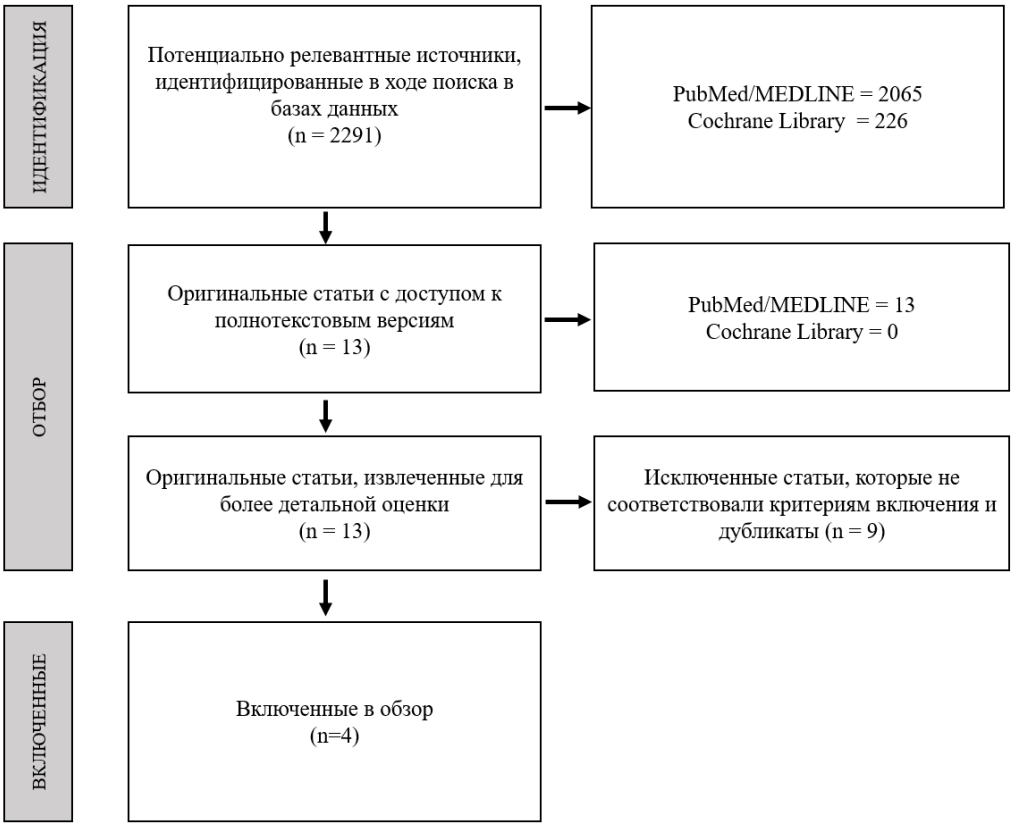


Рис. Блок-схема поиска и отбора литературы PRISMA

Критерии включения/исключения. Мы включили исследования, в которых:

1) изучалась разная скорость прироста нагрузки в инкрементальных тестах, выполняемых на ручных эргометрах;

2) измерялось максимальное потребление кислорода;

3) в качестве участников были включены взрослые испытуемые (18 лет и старше).

Исследования исключались, если потребление кислорода оценивалось непрямым методом, то есть рассчитывалось.

Результаты исследования и их обсуждение. Первичный поиск дал 2291 потенциальный источник. Из них в базе PubMed/MEDLINE 2065 упоминаний и в базе Cochrane Library 226 упоминаний соответственно. Более детальное изучение позволило отобрать 13 полнотекстовых материалов, в которых изучались характеристики протокола тестирования при работе руками. Только 4 работы соответствовали критериям включения и вошли в данный обзор. Три из четырех исследований выполнялись на ручном эргометре [17-19], и одна работа была выполнена на лыжном эргометре Concept 2 в положении сидя [20]. Во всех работах испытуемыми являлись взрослые, здоровые люди. В работе Brurok и соавторов [20] в эксперименте участвовали бывшие спортсмены-лыжники. Основные характеристики исследований, вошедших в обзор показаны в таблице.

В работе Walker и соавторов десять мужчин в возрасте 21,8±5,8 года и весом 77,8±12,7 кг приходили тестирование на ручном эргометре в течение трех дней подряд. При каждом посещении испытуемый выполнял один из трех случайно назначенных тестовых протоколов, предназначенных для определения МПК. Использовались следующие протоколы:

1) тест с перерывами между увеличивающимися нагрузками;

2) непрерывный ступенчатый тест;

3) авторский специальный тест (авторы назвали его «Jump-max Test»).

В непрерывном тесте работа начиналась с нагрузки мощностью 33 Вт с темпом вращения рукояток 40 об/мин и увеличением мощности на 16 Вт каждые 3 мин. В тесте с перерывами между нагрузками испытуемый выполнял работу в течение 3 минут и затем отдыхал 1 минуту перед следующей нагрузкой. Данный протокол начинался с того, что испытуемый вращал рукоятки эргометра со скоростью 50 об/мин без сопротивления, а далее нагрузку увеличивали на 25 Вт на каждой ступени до отказа испытуемого от выполнения работы. «Jump-max Test» начинался с 3-минутной работы для определения мощности, при которой частота сердечных сокращений (ЧСС) испытуемого увеличилась бы до 120±5 уд/мин. Предварительное тестирование начиналось с нагрузки 30 Вт и с темпом вращения рукояток 80 об/мин и увеличением мощности на 20 Вт каждые 30 с до тех пор, пока испытуемый не достигал целевого значения ЧСС (т.е. 120±5 уд/мин). После предварительного теста испытуемому давали 2-минутный отдых для восстановления. Далее авторский «Jump-max Test» начинался с той нагрузки, при которой была достигнута целевая ЧСС. Каждая нагрузочная ступень продолжалась 1 минуту с шагом прироста нагрузки 20 Вт и при темпе 80 об/мин. МПК для протоколов «Jump-max Test», непрерывного протокола и протокола с перерывами составило 2,36, 2,04 и 2,16 л/мин соответственно. Максимальная ЧСС и максимальная легочная вентиляция (ЛВ) составили 177, 161 и 171 уд/мин и 93, 73 и 83 л/мин также для протоколов «Jump-max Test», непрерывного протокола и протокола с перерывами соответственно. Пиковая мощность и время теста составили 190, 106 и 130 Вт, и 6, 12,5 и 23,8 мин для протоколов «Jump-max Test», непрерывного и протокола с перерывами соответственно. Самое высокое значение МПК наблюдалось в самом коротком по продолжительности тесте – «Jump-max Test», длительность которого составила всего 6 минут [17]. Тем не менее, необходимо еще раз отметить, что рабочей фазе данного теста предшествовала предварительная 3-минутная работа. Не совсем понятен физиологический смысл данной предварительной работы и определения стартовой ЧСС именно 120 уд/мин. При работе на ручном эргометре данная ЧСС, скорее всего, будет выше значений ЧСС для аэробного порога. Также такие тесты, как правило, выполняются без специальной разминки, а начальные легкие нагрузочные ступени с заявленной продолжительностью (1 минута) в полной мере позволили бы вработаться испытуемому.

Таблица

Исследования по влиянию протокола тестирования на кардиореспираторные показатели, показатель МПК, показатели мощности и продолжительности теста при работе руками

Автор	**Испытуемые**	**Протоколы**	**ЧСС и ЛВ**	**Мощность и продолжительность**	**МПК**	**Комментарий**
Walker, 1986	10 добровольцев мужского пола	Непрерывный 33 Вт + на 16 Вт каждые 3 мин (40 об/мин). Тест с перерывами 3 минуты + 25 Вт, отдыхая 1 минуту (50 об/мин). «Jump-max Test» предварительная работа до ЧСС 120±5 уд/мин. Далее 1 мин с шагом 20 Вт при 80 об/мин.	Максимальная ЧСС и ЛВ 177, 161 и 171 уд/мин и 93, 73 и 83 л/мин для протоколов «Jump-max Test», непрерывного и протокола с перерывами соответственно.	Пиковая мощность и время теста составили 190, 106 и 130 Вт, и 6, 12,5 и 23,8 мин для протоколов «Jump-max Test», непрерывного и протокола с перерывами соответственно.	Пиковое значение потребления кислорода для протоколов «Jump-max Test», непрерывного и с перерывами составило 2,36, 2,04 и 2,16 л/мин.	Самое большое МПК в самом коротком тесте «Jump-max Test».
Smith, 2006	16 активных мужчин	6 и 12 Вт в минуту.	Максимальная ЧСС и ЛВ составили 177 уд/мин и 105 л/мин и 179 уд/мин и 112 л/мин для протоколов 6 Вт/мин и 12 Вт/мин соответственно.	Максимальная мощность работы составила 149 и 168 Вт для протоколов 6 Вт/мин и 12 Вт/мин соответственно. Продолжительность тестов не указана.	Для протоколов 6 Вт/мин и 12 Вт/мин МПК составило 2,96 и 3,06 л/мин.	Без существенных различий между тестами.

Продолжение таблицы

Castro, 2010	17 волонтеров (мужчины/ женщины: 8/9)	20 Вт/мин и 10 Вт/мин.	Максимальная ЧСС и ЛВ составили 166 уд/мин и 77,48 л/мин и 169 уд/мин и 73,52 л/мин для протоколов 20 Вт/мин и 10 Вт/мин соответственно.	Максимальная мощность составила 119 Вт и 102 Вт для протоколов 20 Вт/мин и 10 Вт/мин соответственно. Быстрый протокол в среднем – 5 минут 23 секунды.	МПК для протоколов 20 Вт/мин и 10 Вт/мин составило 23,51 и 23,28 мл/кг/мин без различий между группами.	Без различий между тестами.
Brurok, 2019	13 тренированных бывших спортсменов-лыжников	20 Вт/30 с, 20 Вт/60 с, 10 Вт/30 с и 10 Вт/60 с.	Максимальная ЧСС и ЛВ составили 169, 170, 167 и 170 уд/мин и 161, 159, 157,4 и 150,7 л/мин для протоколов 20 Вт/30 с, 20 Вт/60 с, 10 Вт/30 с и 10 Вт/60 с соответственно.	Максимальная мощность и продолжительность тестов составила 189, 175, 169 и 152 Вт и 272, 418, 405 и 628 с для протоколов 20 Вт/30 с, 20 Вт/60 с, 10 Вт/30 с и 10 Вт/60 с соответственно.	МПК составило 3,02, 3,08, 3,07 и 3,05 л/мин для протоколов 20 Вт/30 с, 20 Вт/60 с, 10 Вт/30 с и 10 Вт/60 с соответственно.	Без различий между тестами.

Примечание: МПК – максимальное потребление кислорода; ЧСС – частота сердечных сокращений; ЛВ – легочная вентиляция

В материале Smith и соавторов 16 мужчин (30±8 лет, 1,79±0,07 м, 84,7±13,2 кг) выполняли тест на ручном эргометре до отказа, используя скорость нарастания нагрузки либо 6, либо 12 Вт в минуту. Оба теста начинались с мощности работы 60 Вт, и испытуемые поддерживали частоту вращения рукояток на уровне 75 об/мин на протяжении всего теста. Для протоколов со скоростью нарастания мощности 6 Вт и 12 Вт в минуту МПК составило 2,96 и 3,06 л/мин соответственно. Максимальная ЧСС и максимальная ЛВ составили 177 уд/мин и 105 л/мин и 179 уд/мин и 112 л/мин для этих же протоколов соответственно. Не было показано существенной разницы в МПК, максимальной ЧСС и максимальной ЛВ между двумя этими тестами. А вот максимальная мощность работы составила 149 и 168 Вт для протоколов со скоростью нарастания 6 Вт и 12 Вт в минуту соответственно и была выше в тесте с более высокой скоростью прироста нагрузки. Общая продолжительность тестов, к сожалению, не была указана авторами [18]. Однако, можно предположить, что она составила примерно 15 и 9 минут соответственно. Эти результаты согласуются с рядом работ, выполненных на велоэргометре и на беговой дорожке, в которых также было показано, что МПК не зависело от скорости прироста нагрузки, а максимальная мощность (или скорость) была пропорциональна скорости прироста нагрузки [21-24].

В эксперименте Castro 17 человек 4 раза посещали лабораторию для тестирования на ручном эргометре. Во время первого визита испытуемые выполняли ознакомительный тест с начальной нагрузкой 50 Вт для достижения отказа от работы через 8-12 мин с учетом индивидуальных особенностей двигательной активности, пола, индекса массы тела и возраста. Во время второго и третьего визитов выполнялись тесты с увеличением нагрузки каждые 6 с: так называемое «быстрое увеличение» – 2 Вт каждые 6 с (то есть 20 Вт в минуту) и «медленное увеличение» – 1 Вт каждые 6 с (то есть 10 Вт в минуту). Между первыми тремя посещениями был перерыв не менее 2 дней. Далее всем участникам было предложено вернуться в лабораторию через 2-3 месяца и выполнить еще один протокол с быстрым увеличением нагрузки для оценки воспроизводимости предложенного протокола. МПК для протоколов с увеличением нагрузки 20 и 10 Вт в минуту составило 23,51 и 23,28 мл/кг/мин соответственно и без различий между группами. Максимальная ЧСС и максимальная ЛВ составили 166 уд/мин и 77,48 л/мин и 169 уд/мин и 73,52 л/мин для протоколов с увеличением нагрузки 20 и 10 Вт соответственно. Максимальная мощность составила 119 Вт и 102 Вт для протоколов с увеличением нагрузки 20 и 10 Вт в минуту соответственно. За исключением пиковой мощности, которая была выше в протоколе быстрого увеличения нагрузки, различий между исследуемыми протоколами не было. Быстрый протокол позволил достичь МПК при средней продолжительности теста 5 минут 23 секунды. Это короче, чем 8-12 минут, которые обычно рекомендуются для нагрузочных тестов для здоровых людей [19]. Снова наблюдается тенденция в сторону увеличения максимальной аэробной мощности при использовании более быстрого нарастания нагрузки.

Далее Brurok и соавторы изучали разное увеличение нагрузки в четырех протоколах при тестировании уже на лыжном эргометре «Concept 2» в положении сидя перед ним. В эксперименте приняли участие 13 мужчин (возраст – 28,6±3,3 года, масса тела – 83,7±11,9 кг, рост – 183,1±5,1 см), бывших спортсменов-лыжников. Скорость прироста нагрузки в исследуемых протоколах составила 20 Вт каждые 30 или 60 с, и 10 Вт также каждые 30 или 60 с. Максимальная мощность и продолжительность тестов составила 189, 175, 169 и 152 Вт и 272, 418, 405 и 628 с для протоколов 20 Вт за 30 с, 20 Вт за 60 с, 10 Вт за 30 с и 10 Вт за 60 с соответственно. Максимальная ЧСС и максимальная ЛВ составили 169, 170, 167 и 170 уд/мин и 161, 159, 157,4 и 150,7 л/мин также для протоколов 20 Вт за 30 с, 20 Вт за 60 с, 10 Вт за 30 с и 10 Вт за 60 с соответственно. МПК составило 3,02, 3,08, 3,07 и 3,05 л/мин для

протоколов 20 Вт за 30 с, 20 Вт за 60 с, 10 Вт за 30 с и 10 Вт за 60 с соответственно. Настоящее исследование показало, что протоколы с различной скоростью увеличения нагрузки в диапазоне от 20 Вт за 30 с до 10 Вт за 60 с не влияют на МПК, максимальную ЧСС и максимальную ЛВ и, следовательно, могут использоваться взаимозаменяемо, когда именно эти параметры представляют интерес [20].

Из вышесказанного следует, что, судя по всему, МПК при работе руками не зависит от скорости прироста нагрузки в инкрементальных тестах, по крайней мере в исследуемом диапазоне нагрузочных шагов. То есть, если специалистов интересует именно показатель МПК при данной форме выполнения упражнения, то можно существенно сэкономить время исследования без потери его информативности. Например, в работе Brurok [20] разница между самым коротким и самым длинным тестированием составила почти 6 минут работы при одинаковых значениях МПК. Мало того, что мы экономим время, так одна из работ демонстрирует еще и большее значение МПК в самом коротком тесте [17]. Однако этот эффект необходимо проверить в дальнейших исследованиях, так как другие работы этого не демонстрируют. В приведенных работах МПК в самых коротких тестах достигалось примерно за 5 минут работы, что значительно меньше рекомендуемой продолжительности тестирования [25]. Вероятно, продолжительность тестирования можно сократить еще, так как удается получить МПК с помощью так называемых «верификационных тестов» [26], длительность которых может быть меньше 2 минут. Тем не менее, данный вариант тестов необходимо проверить при работе руками, так как эти выводы сделаны по экспериментам на велоэргометре и беговой дорожке.

В приведенном обзоре все данные получены в основном на мужчинах, (только в одной работе участвовало 9 женщин), поэтому переносить эти выводы на женщин необходимо с осторожностью. Также необходимо провести подобные исследования на спортсменах различных специализаций.

Отдельно следует отметить зависимость максимальной аэробной мощности (мощность отказа от выполнения работы) от скорости прироста нагрузки в тесте. В некоторых работах эта мощность демонстрирует сильную связь со спортивным результатом [27-28], но это связь максимальной мощности, которая была получена в отдельно взятом протоколе. Так как максимальная аэробная мощность зависит от протокола тестирования, необходимо проверить, сохраняется ли корреляция со спортивным результатом при использовании разных паттернов прироста нагрузки в тестах. Это тема отдельных исследований и выходит за рамки текущего обзора.

Заключение. Полученные данные демонстрируют, что при работе руками, также как и при работе ногами, максимальное потребление кислорода не зависит от скорости прироста нагрузки в исследуемом временном диапазоне (общая продолжительность ступенчатого теста – 5 минут и более). Максимальная аэробная мощность, в свою очередь, прямо пропорциональна скорости прироста нагрузки (такой же эффект ранее наблюдался и при работе ногами). В будущих исследованиях необходимо изучить данные взаимосвязи с общей продолжительностью теста при работе руками менее 5 минут. При работе ногами такая продолжительность позволяет получить МПК.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cardiorespiratory responses to maximal arm and leg exercise in national-class marathon runners / A. T. deJong, K. Bonzheim, B. A. Franklin, W. Saltarelli // Phys Sportsmed. 2009. – Vol. 37(2). – P. 120-126.
2. Hermansen, L. Oxygen uptake during maximal treadmill and bicycle exercise / L. Hermansen, B. Saltin // J Appl Physiol. – 1969 – Vol. 26(1). – P. 31-37.
3. Monahan, K. E. Assessment of aerobic and anaerobic thresholds in five different technique specific incremental treadmill tests in cross country skiers / Kristen Elizabeth Monahan. – Jyväskylä, 2016. – 72 p.
4. One-legged endurance training: leg blood flow and oxygen extraction during cycling exercise / Rud B., Foss O., Krustrup P. [et al] // Acta Physiol (Oxf). – 2012. – Vol. 205(1). – P. 177-185.
5. Physiological Implication of Slope Gradient during Incremental Running Test / Cassirame J., Godin A., Chamoux M. [et al] // Int J Environ Res Public Health. – 2022. – Vol. 19(19). – P. 12210.
6. Comparison of on-ice and off-ice graded exercise testing in collegiate hockey players / J. J. Durocher, A. J. Guisfredi, D. T. Leetun, J. R. Carter // Appl Physiol Nutr Metab. – 2010. – Vol. 35(1). – P. 35-39.
7. Anaerobic and aerobic power in arms and legs of elite senior wrestlers / Horswill C. A., Miller J. E., Scott J. R. [et al] // Int J Sports Med. – 1992. – Vol. 13(8) – P. 558-561.
8. Sport-Specific Repeated Sprint Training Improves Punching Ability and Upper-Body Aerobic Power in Experienced Amateur Boxers / Kamandulis S., Bruzas V., Mockus P. [et al] // J Strength Cond Res. – 2018. – Vol. 32(5). – P. 1214-1221.
9. Specific and transfer effects induced by arm or leg training / Tordi N., Belli A., Mougin F. [et al] // Int J Sports Med. – 2001. – Vol. 22(7). – P. 517-524.
10. Transfer effects in endurance exercise. Adaptations in trained and untrained muscles / Rösler K., Hoppeler H., Conley K. E. [et al] // Eur J Appl Physiol Occup Physiol. – 1985. – Vol. 54(4) – P. 355-362.
11. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription / American College of Sports Medicine; senior editor, L. S. Pescatello; associate editors, R. Arena, D. Riebe, P. D. Thompson. – 9th ed., 2013.
12. American Thoracic Society; American College of Chest Physicians. ATS/ACCP Statement on cardiopulmonary exercise testing // Am J Respir Crit Care Med. – 2003. – Vol. 167(2). – P. 211-277.
13. Волков, В. В. Измерение максимального потребления кислорода: к вопросу о выборе протокола / В. В. Волков, Р. В. Тамбовцева // Современные вопросы биомедицины. – 2022. – Т. 6. – № 3(20). [In English] Volkov V.V., Tambovtseva R.V. Measurement of maximum oxygen consumption: on the question of choosing a protocol. *Modern Issues of Biomedicine*, 2022, vol. 6, no. 3. DOI: 10.51871/2588-0500_2022_06_03_5 (in Russ.)
14. Волков, В. В. Сравнение скорости максимального потребления кислорода в традиционном ступенчатом тесте и в анаэробном Вингейт-тесте / В. В. Волков, Р. В. Тамбовцева // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7. – № 1(22). [In English] Volkov V.V., Tambovtseva R.V. Comparison of the rate of maximal oxygen consumption in the traditional step test and in the anaerobic Wingate test. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 1. DOI: 10.51871/2588-0500_2022_07_01_4
15. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate healthcare interventions: explanation and elaboration / Liberati A., Altman D. G., Tetzlaff J. [et al] // BMJ. – 2009. – Vol. 339. – P. b2700.
16. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systmatic reviews / Page M. J., McKenzie J. E., Bossuyt P. M. [et al] // BMJ. – 2021. – Vol. 372. – P. n71.
17. Walker, R. Peak oxygen uptake in arm ergometry: effects of testing protocol / R. Walker, S. Powers, M. K. Stuart // Br J Sports Med. – 1986. – Vol. 20(1). – P. 25-26.
18. The influence of ramp rate on VO_2peak and "excess" VO_2 during arm crank ergometry / Smith P. M., Amaral I., Doherty M. [et al] // Int J Sports Med. – 2006. – Vol. 27(8) – P. 610-616.
19. The influence of a fast ramp rate on peak cardiopulmonary parameters during arm crank ergometry / Castro R. R., Pedrosa S., Chabalgoity F. [et al] // Clin Physiol Funct Imaging. – 2010 – Vol. 30(6). – P. 420-425.
20. Effects of different increments in workload and duration on peak physiological responses during seated upper-body poling / B. Brurok, M. Mellema, Ø. Sandbakk, J. K. Baumgart // Eur J Appl Physiol. – 2019. – Vol. 119(9) – P. 2025-2031.
21. Effects of step duration in incremental ramp protocols on peak power and maximal oxygen consumption / Adami A., Sivieri A., Moia C. [et al] //

Eur J Appl Physiol. – 2013. – Vol. 113(10). – P. 2536-2647.
22. Takaishi, T. Relationship between muscle fatigue and oxygen uptake during cycle ergometer exercise with different ramp slope increments / T. Takaishi, T. Ono, Y. Yasuda // Eur J Appl Physiol Occup Physiol. – 1992. – Vol. 65(4). – P. 335-339
23. Effects of stage duration in incremental running tests on physiological variables / Kuipers H., Rietjens G., Verstappen F. [et al] // Int J Sports Med. – 2003. – Vol. 24(7) – P. 486-491.
24. Comparison of ventilation threshold and heart rate deflection point in fast and standard treadmill test protocols / Vucetić V., Sentija D., Sporis G. [et al] // Acta Clin Croat. – 2014. – Vol. 53(2). – P. 190-203.
25. Optimizing the exercise protocol for cardiopulmonary assessment / Buchfuhrer M. J., Hansen J. E., Robinson T. E. [et al] // J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol. – Nov 1983. – Vol. 55(5). – P. 1558-1564.
26. Is a verification phase useful for confirming maximal oxygen uptake in apparently healthy adults? A systematic review and meta-analysis / Costa V. A. B., Midgley A. W., Carroll S. [et al] // PLoS One. – 2021. – Vol. 16(2) – P. e0247057.
27. Hawley, J. A. Peak power output predicts maximal oxygen uptake and performance time in trained cyclists / J. A. Hawley, T. D. Noakes // Eur J Appl Physiol Occup Physiol. – 1992. – Vol. 65(1). – P. 79-83.
28. Physiological Correlations With Short, Medium, and Long Cycling Time-Trial Performance / Borszcz F. K., Tramontin A. F., de Souza K. M. [et al] // Res Q Exerc Sport. – 2018. – Vol. 89(1). – P. 120-125.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:
Василий Васильевич Волков – преподаватель кафедры Биохимии и биоэнергетики спорта имени Н. И. Волкова, Российский Университет Спорта «ГЦОЛИФК», Москва, e-mail: fitclub@list.ru.
Ритта Викторовна Тамбовцева – доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой Биохимии и биоэнергетики спорта имени Н.И. Волкова, Российский Университет Спорта «ГЦОЛИФК», Москва, e-mail: ritta7@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Vasilij V. Volkov – Lecturer of the Department of Sports Biochemistry and Bioenergy named after N.I. Volkov, Russian University of Sports “GTSOLIFK”, Moscow, e-mail: fitclub@list.ru.
Ritta V. Tambovtseva – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Sports Biochemistry and Bioenergy named after N.I. Volkov, Russian University of Sports “GTSOLIFK”, Moscow, e-mail: ritta7@mail.ru.

Для цитирования: Волков, В. В. Влияние скорости прироста нагрузки во время тестирования на ручном эргометре на максимальное потребление кислорода: систематический обзор / В. В. Волков, Р. В. Тамбовцева // Современные вопросы биомедицины. – 2024. – Т. 8. – № 1. DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_01_4

For citation: Volkov V.V., Tambovtseva R.V. Influence of load rate on maximum oxygen consumption during upper-body testing: a systematic review. *Modern Issues of Biomedicine*, 2024, vol. 8, no. 1. DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_01_4